引用格式：董金玮, 崔屹峰, 邸媛媛, 等. 大数据时代耕地红线管控监测的机遇与挑战. 中国科学院院刊, 2023, 38(12): 1781-1792, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230928001.
Dong J W, Cui Y F, Di Y Y, et al. Opportunities and challenges in monitoring cultivated land red line in big data era. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12): 1781-1792, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230928001. (in Chinese)

大数据时代耕地红线管控监测的机遇与挑战

董金玮[1,2*]　崔屹峰[1,2]　邸媛媛[1]　高　璇[1]　陈　曦[1,2]　杨林生[1,2]　蔡玉梅[3]　宁　佳[1]　刘纪远[1]

1 中国科学院地理科学与资源研究所　北京　100101
2 中国科学院大学　北京　100049
3 自然资源部国土空间规划研究中心　北京　100034

摘要　人多地少的国情决定了我国实行世界上最严格耕地保护制度的必要性。我国耕地保护红线管控状态的有效、及时和准确监测成为实现耕地保护和粮食安全的重要保证，遥感大数据、云计算和人工智能等前沿技术的发展为耕地管控监测提供了新的机遇。文章系统阐述了当前耕地保护红线管控监测方面的研究现状和面临的问题，包括监测对象体系的构建、遥感数据的可用性、监测结果的准确性和时效性等；介绍大数据技术在耕地红线监测中的前沿技术和应用前景，提出耕地红线监测的创新技术方案；讨论了实现这一研究范式变革面临的挑战，并就耕地保护内涵、基本地块单元划定、国土空间规划实施监测网络构建等问题提出了相应建议。

关键词　耕地红线，遥感监测，大数据研究范式，粮食安全

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230928001

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230928001

作为全球人口最多的国家之一，我国始终将耕地保护和粮食安全作为最重要的国家战略。然而，随着经济社会的快速发展，耕地这一重要的战略资源面临着日益严峻的保护挑战，如我国耕地数量不断减少、区域耕地质量不断下降、耕地利用效率不高等[1]。根据国家统计局的数据，从2009年第二次到2019年第三次全国土地调查，我国耕地总面积减少了1.13亿亩，耕地“非农化”“非粮化”等问题始终威胁粮食

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23100203、XDA23100400）
修改稿收到日期：2023年12月4日

安全。为了有效保护耕地资源，我国确立了耕地尤其是永久基本农田的优先保护地位，使之成为调整经济结构、规划产业发展、推进城镇化不可逾越的耕地保护红线。

耕地保护红线的管控监测是实现耕地保护和粮食安全的重要举措。随着社会经济快速发展，加剧的人类活动对耕地保护造成了越来越大的压力，导致局部耕地出现面积减少、质量下降、产量降低、作物结构单一、生态服务功能退化、耕地健康状况受损等问题[2-4]。此外，气候变化也给耕地保护带来了巨大的挑战，特别是温度升高、降水变率增大伴随极端气候事件频率和强度的增加，如干旱和洪涝灾害加剧等，深刻影响着耕地的稳定性和可持续性[5]。在人类活动和气候变化共同作用下，耕地管控状态的变化速度更快、强度更大、复杂性更高，如何对耕地管控状态进行高时效性、准确性、全面性地评估和监测已成为一个迫切需要解决的问题。

然而，传统的耕地监测方法存在着诸多不足，如周期长、时效性差、精度低、成本高等问题，难以满足及时、准确、动态的监测需求。大数据具有海量数据处理、快速分析、智能决策等优势。通过整合卫星影像、气象数据和土壤监测等多源数据，实现对耕地利用状态多维度的高频、高精度监测，为耕地红线管控状态的监测提供更为精准的数据支持、新的研究思路和技术手段[6]，从而全面了解耕地的状态和变化趋势，为农业规划、土地管理及粮食生产等决策提供科学支持和数据基础[7]。如谷歌基于遥感大数据和云计算构建了近实时土地覆盖制图平台（Dynamic World）[8]，实现了土地覆盖制图从静态到实时动态监测的新理念的转换，这为耕地红线管控状态的监测预警提供了重要范例。

本文旨在适应大数据时代科研范式变革的要求，积极推进耕地红线监管的大数据支撑。将从3个方面展开论述：① 分析当前耕地保护红线管控监测现状；② 介绍大数据技术在耕地红线监测中的应用现状和前沿技术，提出耕地红线监测的创新技术方案；③ 提出大数据技术在耕地红线监测中的挑战、建议和展望。

1 耕地保护红线管控监测的现状与存在的问题

1.1 我国耕地保护红线政策的演变和监测的重要性

自1949年中华人民共和国成立以来，我国始终高度重视耕地的保护和利用工作（图1）。这一过程经历了从初期对耕地资源的初步探索，到改革开放时期对耕地质量建设的逐步扩展，再到党的十八大以来对耕地系统保护的不断延伸。这种发展变迁的路径和一系列耕地利用与保护的政策不断完善，形成了一个综合的耕地保护利用体系，从耕地数量保护逐步到注重平衡数量、质量和生态三位一体，这为保障粮食安全、推动农业绿色高质量发展和加速农业现代化进程奠定了坚实基础。研究表明这一系列耕地保护红线政策在我国耕地保护和粮食安全中发挥了重要作用，使我国得以用不到全球9%的耕地养活了世界近20%的人口[9,10]。

1.2 当前耕地保护红线管控监测存在的主要问题

1.2.1 面向农业土地系统多维度信息的监测体系亟需构建

耕地监测的目的和内容不仅局限于统计耕地的数量变化，还要综合考虑耕地的质量、作物种植制度、生态与健康等多个角度和层次的特征。耕地质量包括土壤肥力、质地等物理和化学特性；种植制度监测不仅要考虑耕地的种植结构、种植方式、种植效率等技术因素，还要考虑耕地的社会经济效益、市场竞争力、农民收入等经济因素；耕地生态状况监测不仅要考虑耕地的生物多样性、水土保持、气候调节、碳汇等生态服务的贡献，还要考虑耕地退化等生态压力的影响；耕地的健康包括农药使用、污染物含量、食品安全等方面。

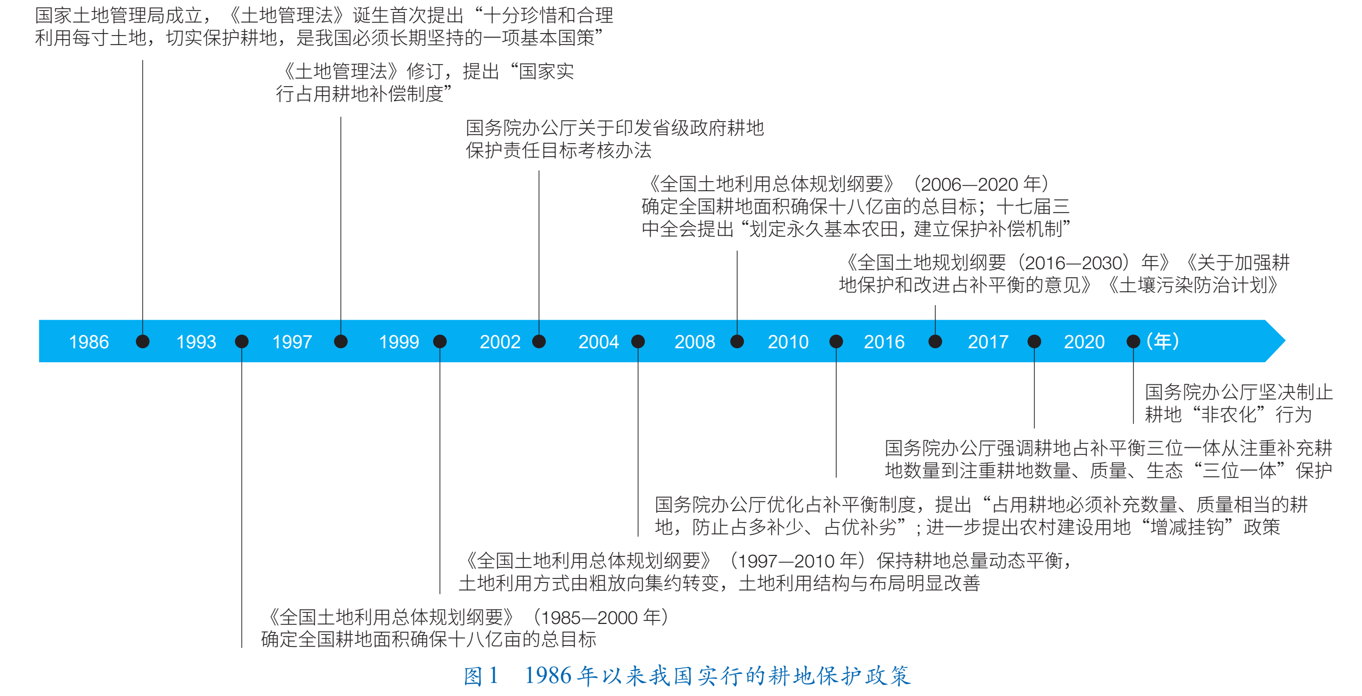


图 1 1986 年以来我国实行的耕地保护政策

Figure 1 Cultivated land protection policies implemented in China since 1986

遥感技术在耕地数量监测方面发挥了重要作用，但其他维度信息监测方面需要耦合遥感和多模态数据进行协同监测。例如针对耕地的质量和侵蚀状况等需要更高的光谱和空间分辨率数据，以及更先进的技术算法进行准确地监测，并需要结合地面站点观测数据进行耦合，来加强多元协同观测技术在耕地多维度信息监测中的应用[11]。

1.2.2 耕地卫星遥感监测数据成果丰富，但一致性较低，标准化有待加强

进入21世纪以来，我国在2007年和2019年分别进行了第二次和第三次全国土地调查[7,12]。第二次和第三次全国土地调查公布的耕地面积分别为20.31亿亩和19.18亿亩，相关数据以统计数据的形式按照区（县）行政区划向全社会公开发布，其数据被认为最具准确性、权威性和法律效力。然而，出于相关法律规定等原因，历次土地调查的原始图斑数据均未向社会公开。科研团体和机构研发的开源耕地卫星遥感数据产品依然是当下科学研究采用的主要数据源。

卫星遥感是当前耕地监测的主要手段。特别是在2008年美国Landsat系列数据、2014年欧洲哨兵（Sentinel）系列数据，以及2019年中国高分数据向全球用户免费共享以来，海量中、高空间分辨率的卫星开源数据逐渐成为遥感耕地制图的主要数据源。此外，2012年以来以谷歌公司为代表的遥感云计算平台，以其集成多源遥感数据、并行计算和向科研团体免费使用的特点，逐渐成为了耕地遥感监测的首选计算平台。遥感大数据和云计算平台的出现极大地促进了中分辨率全球土地覆盖数据产品的研制，例如以2020年为基准年、空间范围涵盖中国大陆地区的耕地遥感监测产品多达10余套（表1）。

然而，这些数据集存在较大的不一致性和不确定性。以我国2020年为基准年的12套耕地遥感监测数据集为例，超过53.55%的区域一致性较低（耕地产品一致性数量小于等于5），面积达 190.25×10^4 km²（图2）。而完全一致性区域（12套耕地遥感产品均认为是耕地）比例仅占12.89%，面积为 45.79×10^4 km²。其中，高一致性区域主要分布于东北平原、华北平原、

长江中下游平原等地势较为平坦、耕地集中连片分布的传统农业区。对于内蒙古农牧交错带以北的戈壁地区、青藏高原、南方丘陵、横断山区等耕地破碎化地区，多套耕地数据的不一致性较大。图2中表明当前12套耕地产品面积与第三次全国国土调查面积整体上具有较强的一致性，但仍呈现显著的区域差异。因此，未来耕地红线的卫星遥感监测工作亟待加强行业标准的制订，提升数据的规范性。

1.2.3 科研与行业部门的对接和互动有待深化，数据共享有待加强

尽管近年来自动化分类技术在科学研究领域取得了长足进步，但当前自然资源业务部门的耕地遥感保

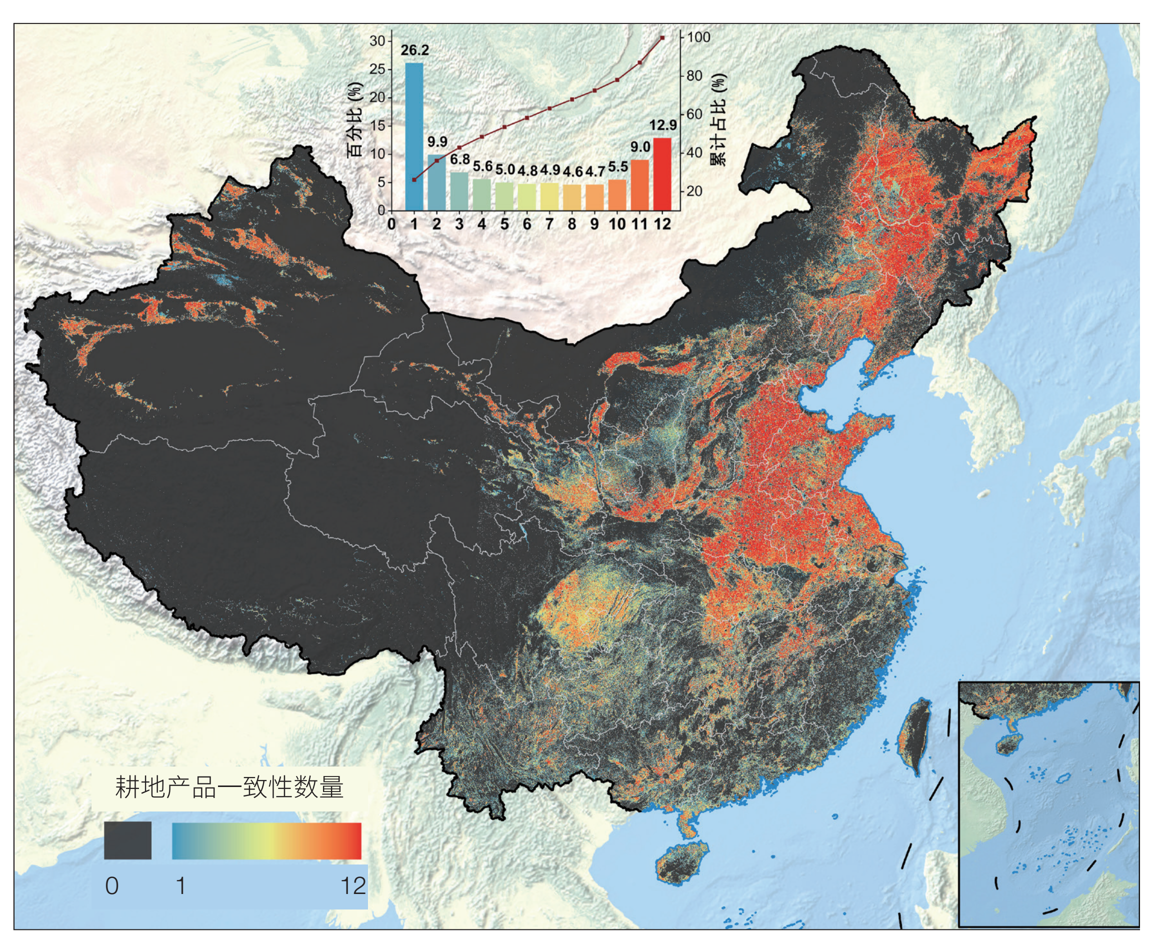


图2　12套中国地区耕地遥感数据的空间一致性及分省耕地遥感产品面积与第三次全国国土调查面积对比（基准年：2020年，单位：10^4 hm^2）

Figure 2　Spatial consistency of 12 sets of remote sensing data on cultivated land in China and comparison of area of remote sensing products by province with area of the third national land survey (base year: 2020, unit: 10^4 hm^2)

全国数据不包含香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾省、福建省的金门、马祖等岛屿；国家汇总第三次全国国土调查数据时，对于“飞地”按照“飞入地汇总”的原则进行统计，对于行政界线未勘定的区域按照调查工作界线进行统计，以实现全国调查汇总数据不重不漏。

National data does not include Hong Kong Special Administrative Region, Macao Special Administrative Region, Taiwan Province, and islands such as Kinmen and Matsu in Fujian Province; In the process of summarizing data from the third national land survey, the “enclave” was counted according to the principle of “ fly in summary”, and the areas where administrative boundaries have not been determined were counted according to the survey work boundaries. This ensures that the national survey summary data is not duplicated or omitted.

表1　我国国家尺度12套2020基准年耕地遥感监测数据

Table 1　12 sets of remote sensing monitoring data on cultivated land in China for base year 2020

序号	数据集	数据源	空间分辨率(米)	时间范围(年)	发布时间(年)	数据来源
1	SinoLC-1	Google Earth影像	~1.07	2020	2023	Li等[13]
2	World Cover	Sentinel-1 Sentinel-2	10	2017—2022	2021	Zanaga等[14]
3	ESRI Land Cover	Sentinel-2	10	2017—2022	2021	Karra等[15]
4	Dynamic World	Sentinel-1 Sentinel-2	10	2015—2022	2022	Brown等[8]
5	CRLC	Sentinel-2	10	2020	2023	Liu等[16]
6	AIEC	Sentinel-2	10	2020—2022	2023	Liu等[17]
7	Globe Land 30	Landsat 5/7/8 HJ-1, GF-1	30	2000、2010、2020	2021	Chen等[18]
8	CLCD	Landsat 8 OLI	30	1985—2022	2021	Yang和Huang[19]
9	GLC_FCS 30	Landsat 8 OLI	30	1985—2020	2021	Zhang等[20]
10	GLAD	Landsat ARD	30	2000—2019	2022	Potapov等[3]
11	CACD	Landsat 5/7/8	30	1986—2021	2023	Tu等[21]
12	CLUD	Landsat 5/7/8, GF-2	30	1980—2020	2020	刘纪远等[22]

护执法在涉及实际应用场景时，仍然需要大量的人工干预或完全由人工主导解译。以耕地违法占用遥感监测为例，由于耕地背景覆盖本身呈现显著的季节性和区域性差异，而违法附着物在类别和尺寸、颜色形态方面也具有多样性，使得传统基于人工智能的目标检测算法在应用于耕地执法场景时常常出现“漏分”和“错分”等现象。然而，人工解译也存在时效性差、效率低、人力成本高、受操作人员经验影响精度难以保证等一系列不足。

当前，我国耕地红线监测工作在科学研究和行业部门两个方面均取得重要进展。① 在科学研究方面。除了上述耕地遥感监测产品外，在作物分布和耕地管理与利用方面，也已有“东北地区10 m分辨率主要作物分布数据集”[23,24]、“全国500 m分辨率灌溉耕地分布数据集”[25,26]、“全国1 km分辨率粮食作物物候数据集”[27]、“全国30 m分辨率冬小麦种植分布数据集”[28]等大量遥感监测数据集公开发布。因此，如何将科学研究领域的进展更好的对接并服务于农业和自然资源等业务部门，仍需要科研人员与政府工作人员加强协作和共同努力。② 在耕地数据调查方面。自然资源行业部门投入了大量工作，例如自然资源部约每10年开展一次的全国土地利用现状调查，第二次和第三次全国土地调查也形成了高精度和权威性的数据产品，农业农村部自2008年起也组织开展全国耕地质量监测，但这些调查均只提供统计报告而未公开原始数据。为了更好地统筹和节约资源，深化科学研究和部门应用潜力，有必要打破“数据孤岛”，进一步统筹协调业务部门与科研部门的数据共享和开放。

地球科学数据共享对于应对当今最具挑战性和前所未有的全球环境问题，以及实现联合国2030年可持续发展目标尤为重要[29]。美国农业部的自然资源清单（NRI）项目包括土地利用、土壤特征、水质等信息，每5年更新1次，数据向公众开放。同时，通过其数据中心共享了全国范围的农业作物种植面积分布数

据，但没有提供精细化的农户作物调查数据。欧盟统计局自2006年启动土地利用/土地覆盖面积框架统计调查项目（LUCAS），通过每3年开展1次在欧盟28个成员国的调查，获取土地覆盖与土地利用统计数据，并对外公开发布。欧洲航天局开放了部分较粗糙的遥感影像如10 m空间分辨Sentinel-2卫星等，但0.5—1 m分辨率的更高分辨率商业卫星影像仍未全面向用户免费开放。因此，充分调研这些国家耕地监测数据共享的范围、形式、法律约束机制等对于我国耕地监测数据协同、资源节约和高效利用，具有重要意义。

2 大数据驱动下的耕地保护红线管控监测新范式

2.1 基于“遥感大数据+云计算+AI”的大数据科研范式

近年来，我国已成功发射了高分、资源系列等对地观测卫星，加之一些商业微小卫星和无人机影像，获得了大量的耕地系统高时空分辨率的数据。协同国外的遥感数据，为开展耕地红线管控状态的实时监测与预警提供了数据支撑[30]。与此同时，遥感云计算平台的出现为遥感大数据挖掘提供了前所未有的机遇，遥感云计算可以克服传统遥感数据处理的局限性，如硬件成本高、软件更新慢、数据共享难等，实现遥感数据的快速获取、实时处理和在线服务。此外，人工智能技术可以对卫星图像或航拍照片进行处理，自动识别和监测非法占用、耕地扩张等农地变化，定期检查农地的利用现状并就违规行为进行预警。人工智能技术还可以用于耕地健康监测，监测土壤质量、作物生长情况和水资源利用，帮助农户更好地规划和管理农田。

因此，遥感大数据、云计算和人工智能的集成可以大范围、实时获取高精度耕地数据[31]，包括耕地的数量、质量、生态状况等多维度信息，从而助力实现耕地红线管控状态的实时监测与预警、耕地状态历史演变过程的重建、极端天气灾害的耕地影响快速评价等（图3）。

2.2 大数据科研范式下的耕地保护红线管控监测

2.2.1 实现耕地红线管控状态的实时监测与预警

现有耕地红线管控状态的监测周期以年度为主，尚不能满足耕地动态化监管的需求。基于多模态遥感、云计算和AI等技术可以实现高精度国土要素的自动化、实时识别，进而服务于耕地红线管控状态的实时监测和预警。高性能开源软件框架（如TensorFlow）中算法的进步及云计算平台的数据收集和处理能力，为更高空间分辨率和更高时间分辨率耕地数据集的发布创造了机会[8]。因此，采用数据驱动的人工智能技术实现耕地空间要素高精度快速识别和提高耕地应对安全威胁的响应速度和预警的准确性已成为发展趋势。

耕地管控状态的实时监测重点攻关红线范围内干扰活动的快速识别技术。① 针对自然和人类扰动信息难以快速、精准获取的难题，以高分辨率、多角度、多模式的光学、高光谱、雷达等多源异构海量遥感数据为主体，发展建设占用、开垦与种植、灾害损毁、盗砍盗伐、非粮化等地表形态扰动要素样本库构建技术。② 融合基于遥感云计算平台的并行计算与智能决

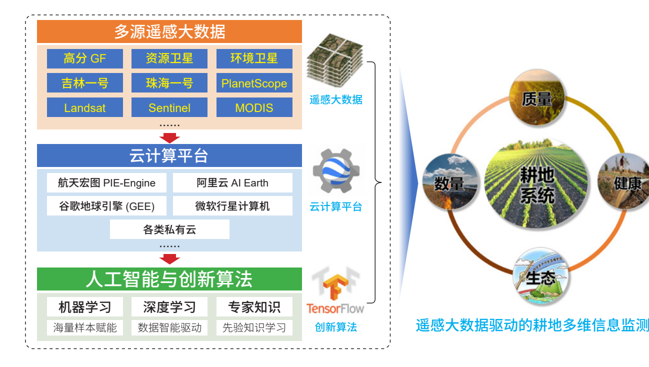


图3 “遥感大数据+云计算+创新算法”技术体系助力耕地系统多维信息监测

Figure 3 Technology system of remote sensing big data + cloud computing + innovative algorithms facilitates multi-dimensional information monitoring of cultivated land systems

策技术，发展多源广域示范区多样化场景空间红线管控要素模型智能适配方法，满足耕地红线安全底线管控关键要素快速、精准提取与识别。③ 耕地红线管控评估预警技术，包括构建数量、质量、格局等耕地管控评估指标体系，建立耕地红线评估预警模型工具。构建融合数量、质量、生态、格局、潜能、用途的耕地系统多维度评估指标体系和面向国家粮食安全的耕地红线管控风险评估与预警模型，实现耕地红线管控风险的快速评估和精准预警。

此外，媒体报道和社会舆论驱动的被动执行情况多，仍难以实现主动式监测。未来的研究方向仍需与人工智能相结合，进一步改进目标检测算法，考虑更多的地域特征和背景信息，以培养更为智能的算法来应对耕地违法监测中的多样性和复杂性；进一步减少人工干预，提高执法效率与准确性，最终实现耕地保护执法的主动式精准监测。

2.2.2 “遥感大数据+云计算+AI”实现耕地状态历史演变过程的重建

为了重建不同历史时期的耕地演变过程，需要依靠不同数据源和方法来还原历史时期耕地状态和演变过程。例如，针对2000年以来的耕地演变过程，国内外利用卫星进行周期性的耕地资源调查监测已有较为成熟的技术。主要依靠中高分辨率的多源遥感数据如美国陆地资源卫星（Landsat）（30 m）、欧空局“哨兵”二号卫星（Sentinel-2）（10 m）、美国星球实验室鸽群卫星（PlanetScope）（3—5 m）、国产高分卫星（0.8—10 m），通过数据融合、去云去噪、数据插值、滤波平滑等遥感数据预处理过程重建长时间序列多源遥感数据集，再通过机器学习及深度学习等创新算法进行遥感影像分类实现2000年以来的耕地历史演变过程重建[32]。

针对2000年以前的耕地演变过程，主要依靠遥感数据结合农业统计数据（如面积、产量等），通过作物空间分配模型（SPAM）来推测不同时期耕地分布格局，从而重建2000年以前的历史时期耕地分布格局[33]。基于重建的长时间序列耕地历史演变数据集，采用Landtrendr等变化检测方法探测耕地变化的关键拐点与热点地区，分析耕地历史时期变化的时空演替特征。

2.2.3 “遥感大数据+云计算+AI”实现极端天气灾害的耕地影响快速评价

极端天气灾害的耕地影响评价包括灾害本身的快速监测预报和影响评价2个方面。① “遥感大数据+云计算+AI”为极端天气灾害事件的监测预报提供了重要的数据和方法支撑。Hao等[34]结合多源卫星数据提出优化气象干旱指数（OMDI）和优化植被干旱指数（OVDI）实现了我国西南地区生物的干旱长时序时空格局的监测。通过训练深度神经网络来捕获输入（在给定时间点再分析天气数据）和输出（在目标时间点再分析天气数据）之间的关系，能够将天气灾害预报速度相比数值天气预报（NWP）方法提高多个数量级。华为公司云田奇团队研发了“盘古气象”（Pangu-Weather）AI天气预报系统，并发现和ECMWF HRES比较，该大模型在不同地区、不同热带风暴强度、不同预测时间上台风路径预测准确度都有明显优势[35]。此外，Zhang等[36]提出了一个名为NowcastNet的极端降水临近预报大模型，通过耦合物理规律和深度学习实现不同类型降雨率的精确预报，特别是以往方法难以处理的极端降雨事件。② 遥感技术能够全面、及时地评价极端天气灾害发生后的耕地情况。利用云计算的高性能算力，结合AI算法对遥感大数据进行分析，识别出耕地受灾面积、农作物损失等灾害影响特征。Chen等[37]结合遥感云计算平台与变化检测方法，准确地刻画了2020年长江中下游流域的耕地受洪灾影响情况。基于多源遥感数据，Javed等[38]探究了农业干旱与冬小麦和夏玉米产量损失之间的潜在联系，发现中国极端干旱事件频次的增加是华北地区夏玉米产量和冬小麦产量显著下降的重要原因。

Dong 等[39]采用中分辨率成像光谱的归一化红外指数（NDII）和扰动指数（DI）2 种方法评估了东北地区“巴威”“美莎克”“海神”3 次台风对当地作物的影响，为灾后农田管理提供了科学指导。

3 建议与展望

3.1 统筹构建“面积-质量-生态-健康”耕地多维度信息监测体系

当前已有耕地监测研究主要集中在面积变化上，然而，考虑到现代农业的复杂性，多维度监测变得至关重要。应该纳入更多关键维度的考量，如耕地质量、作物种植结构、作物管理方式、耕地生态状况、耕地健康状态等。这种多维度全方位的监测有助于更深入地了解土地资源的状况，并为土地的科学管理提供更为准确和全面的数据支持。了解耕地的质量和健康状况可以帮助农户采取更有效的土地管理措施。同时，监测作物种植结构和管理方式的变化可以支持政府农业政策的制定，促进可持续的农业实践，提高耕地的生态适应性。

3.2 加强国产卫星和云计算平台在耕地监测中的能力建设

中高分辨率遥感数据日益丰富，多源异构海量遥感数据的融合而形成更高维度空间、光谱和时间信息的遥感数据立方体，提升特征提取和数据挖掘能力，是突破耕地系统遥感监测关键技术瓶颈的途径[32,40]。未来，应完善国产陆地遥感卫星观测体系，增加发射和在轨卫星数量，不断完善“资源”、“高分”等系列国产陆地遥感卫星观测体系，提高遥感数据的准确性和可靠性。此外，增加反映作物光谱特性的波段，在国产卫星中可增加能够有效反映作物特有光谱特性的“红边”波段，提高对耕地系统作物长势、病虫害等遥感监测的准确性。以长光卫星产品“吉林一号”为例，截至目前已有 108 颗卫星在轨组网运行，实现对全球任意地区每天 35—37 次亚米级重访观测，在时间敏感度较高的耕地非法占用等红线监管业务场景中有重要应用前景[41]。未来，应该注重国产陆地资源卫星和商业卫星大数据的协同利用，更好地助力耕地和其他自然资源本底要素和动态的客观、真实、准确、实时监测。

3.3 加强地块基本单元等关键基础信息数据库建设，提升监测精度

通常基于像元的分类方法没有充分挖掘像元相邻的空间信息，从而造成一些分类错误及“椒盐现象”①的问题。在遥感监测耕地的过程中融合地块基本单元的信息，构建耕地基础地块信息数据库，能够提高遥感监测耕地的准确性，显著降低遥感影像分类结果的误差和噪声。地块基本信息是连接遥感监测与农业部门实际应用的桥梁，将地块基本单元信息与农业、自然资源等部门数据共享整合。利用高分辨率遥感卫星影像和前沿的图像分类分割技术，辅以现场调查验证，通过边缘检测或者空间信息聚合等前沿的图像分割的技术，能够实现地块信息的精准识别。但目前地块信息提取在高分遥感数据的可获取性、复杂景观地区地块信息提取、大尺度地块信息连续监测等方面还面临诸多挑战。

3.4 推动科学研究与部门业务间的数据高效互通和安全共享

协同对接耕地科学监测数据与部门业务数据，并在数据标准规范制定的基础上进行共享，可以在提高农业管理效率、灾害风险应对等方面发挥关键作用。国内外在耕地数据共享等方面已取得了重要进展，但数据的共享开放与安全保障的权衡需要由专门的政府部门或研究机构来负责统筹。需建立数据共享标准规范，农业数据的收集、整理和共享发布等环节均需要

① 指遥感影像中随机出现的亮暗点噪声。

制定法律、数据共享的标准和元数据规范，确保数据的安全性、格式、内容标注、质量控制等符合相关的规定，保证共享数据的质量。建立明确的用户申请流程，研究者按照规范提出申请，负责部门进行审核批准，签订数据使用协议，避免数据滥用，确保共享数据的安全性。

3.5 耕地保护红线管控监测纳入国土空间规划监测系统（CSPON）

耕地一体化监测平台建设可以推进农业数字化、智能化、精准化，全面监测耕地质量变化和粮食生产动态，科学预警和保障国家粮食安全。我国正在推进建设国土空间规划实施监测网络（CSPON），试图突破国土空间规划实施监测中的统一网络架构、算法模型、数据治理等方面的问题，健全数据共享等基础性政策标准，其中，耕地红线管控状态监测是其中重要的内容。遥感大数据和云计算等前沿技术不仅能丰富规划实施监测的方法论，更为构建全新的国土空间规划实施监督理论和监测体系提供了宝贵的机遇。需要重新审视监测的目标、指标、方法和评估体系，将科技创新与规划实践相结合，打造更加精准、高效、可持续的国土空间规划实施监测新机制。

参考文献

1 蔡运龙, 傅泽强, 戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控. 地理学报, 2002, (2): 127-134.
Cai Y L, Fu Z Q, Dai E F. The minimum area per capita of cultivated land and its implication for the optimization of land resource allocation. Acta Geographica Sinica, 2002, (2): 127-134. (in Chinese)

2 Lark T J, Spawn S A, Bougie M, et al. Cropland expansion in the United States produces marginal yields at high costs to wildlife. Nature Communications, 2020, 11: 4295.

3 Potapov P, Turubanova S, Hansen M C, et al. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. Nature Food, 2022, 3 (1): 19-28.

4 Jiang P H, Cheng Q W, Zhuang Z Z, et al. The dynamic mechanism of landscape structure change of arable landscape system in China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018, 251: 26-36.

5 Ortiz-Bobea A, Ault T R, Carrillo C M, et al. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. Nature Climate Change, 2021, 11(4): 306-312.

6 Whitcraft A K, Becker-Reshef I, Justice C O, et al. No pixel left behind: Toward integrating Earth Observations for agriculture into the United Nations Sustainable Development Goals framework. Remote Sensing of Environment, 2019, 235: 111470.

7 Chen X, Yu L, Du Z R, et al. Toward sustainable land use in China: A perspective on China’s national land surveys. Land Use Policy, 2022, 123: 106428.

8 Brown C F, Brumby S P, Guzder-Williams B, et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data, 2022, 9: 251.

9 祖健, 郝晋珉, 陈丽, 等. 耕地数量、质量、生态三位一体保护内涵及路径探析. 中国农业大学学报, 2018, 23(7): 84-95.
Zu J, Hao J M, Chen L, et al. Analysis on trinity connotation and approach to protect quantity, quality and ecology of cultivated land. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(7): 84-95. (in Chinese)

10 刘丹, 巩前文, 杨文杰. 改革开放40年来中国耕地保护政策演变及优化路径. 中国农村经济, 2018, (12): 37-51.
Liu D, Gong Q W, Yang W J. The evolution of farmland protection policy and optimization path from 1978 to 2018. Chinese Rural Economy, 2018, (12): 37-51. (in Chinese)

11 刘洪彬, 李顺婷, 吴梦瑶, 等. 耕地数量、质量、生态“三位一体”视角下我国东北黑土地保护现状及其实现路径选择研究. 土壤通报, 2021, 52(3): 544-552.
Liu H B, Li S T, Wu M Y, et al. Current situation and perspectives of black soil protection from the integrated angle of quantity, quality, and ecology in northeast China. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(3): 544-552. (in Chinese)

12 舒弥, 杜世宏. 国土调查遥感40年进展与挑战. 地球信息

科学学报, 2022, 24(4): 597-616.
Shu M, Du S H. Forty years' progress and challenges of remote sensing in national land survey. Journal of Geo-Information Science, 2022, 24(4): 597-616. (in Chinese)
13 Li Z H, He W, Cheng M F, et al. SinoLC-1: The first 1 m resolution national-scale land-cover map of China created with a deep learning framework and open-access data. Earth System Science Data, 2023, 15(11): 4749-4780.
14 Zanaga D, Van De Kerchove R, De Keersmaecker W, et al. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021.
15 Karra K, Kontgis C, Statman-Weil Z, et al. Global land use/ land cover with Sentinel 2 and deep learning// 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. Brussels: IEEE, 2021: 4704-4707.
16 Liu Y H, Zhong Y F, Ma A L, et al. Cross-resolution national-scale land-cover mapping based on noisy label learning: A case study of China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023, 118: 103265.
17 Liu S, Wang H D, Hu Y, et al. Land use and land cover mapping in China using multimodal fine-grained dual network. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2023, 61: 1-19.
18 Chen J, Chen J, Liao A P, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103: 7-27.
19 Yang J E, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. Earth System Science Data, 2021, 13(8): 3907-3925.
20 Zhang X A, Liu L Y, Chen X D, et al. GLC_FCS30: Global land-cover product with fine classification system at 30 m using time-series Landsat imagery. Earth System Science Data, 2021, 13(6): 2753-2776.
21 Tu Y, Wu S, Chen B, et al. A 30 m annual cropland dataset of China from 1986 to 2021. Earth System Science Data Discussions, 2023: 1-34.
22 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
Liu J Y, Ning J, Kuang W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802. (in Chinese)
23 Di Y Y, You N S, Dong J W, et al. Recent soybean subsidy policy did not revitalize but stabilize the soybean planting areas in Northeast China. European Journal of Agronomy, 2023, 147: 126841.
24 You N S, Dong J W, Huang J X, et al. The 10-m crop type maps in Northeast China during 2017 – 2019. Scientific Data, 2021, 8: 41.
25 Zhang C, Dong J W, Zuo L J, et al. Tracking spatiotemporal dynamics of irrigated croplands in China from 2000 to 2019 through the synergy of remote sensing, statistics, and historical irrigation datasets. Agricultural Water Management, 2022, 263: 107458.
26 Zhang C, Dong J W, Ge Q S. Mapping 20 years of irrigated croplands in China using MODIS and statistics and existing irrigation products. Scientific Data, 2022, 9: 407.
27 Luo Y C, Zhang Z, Chen Y, et al. ChinaCropPhen1km: A high-resolution crop phenological dataset for three staple crops in China during 2000 – 2015 based on leaf area index (LAI) products. Earth System Science Data, 2020, 12(1): 197-214.
28 Dong J E, Fu Y Y, Wang J J, et al. Early-season mapping of winter wheat in China based on Landsat and Sentinel images. Earth System Science Data, 2020, 12(4): 3081-3095.
29 Li X, Cheng G D, Wang L X, et al. Boosting geoscience data sharing in China. Nature Geoscience, 2021, 14(8): 541-542.
30 张兵. 当代遥感科技发展的现状与未来展望. 中国科学院院刊, 2017, 32(7): 774-784.
Zhang B. Current status and future prospects of remote sensing. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32 (7): 774-784. (in Chinese)
31 Wu B F, Zhang M, Zeng H W, et al. Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: A review. National Science Review, 2023, 10(4): nwac290.
32 董金玮, 吴文斌, 黄健熙, 等. 农业土地利用遥感信息提取的研究进展与展望. 地球信息科学学报, 2020, 22(4): 772-783.
Dong J W, Wu W B, Huang J X, et al. State of the art and perspective of agricultural land use remote sensing

information extraction. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(4): 772-783. (in Chinese)

33 Lu M A, Wu W B, You L Z, et al. A cultivated planet in 2010 – Part 1: The global synergy cropland map. Earth System Science Data, 2020, 12(3): 1913-1928.

34 Hao C, Zhang J H, Yao F M. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 35: 270-283.

35 Bi K F, Xie L X, Zhang H H, et al. Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. Nature, 2023, 619: 533-538.

36 Zhang Y C, Long M S, Chen K Y, et al. Skilful nowcasting of extreme precipitation with NowcastNet. Nature, 2023, 619: 526-532.

37 Chen X, Dong J W, Huang L, et al. Characterizing the 2020 summer floods in South China and effects on croplands. iScience, 2023, 26(7): 107096.

38 Javed T, Zhang J H, Bhattarai N, et al. Drought characterization across agricultural regions of China using standardized precipitation and vegetation water supply indices. Journal of Cleaner Production, 2021, 313: 127866.

39 Dong G N, Liu Z J, Du G M, et al. Assessment of vegetation damage by three typhoons (Bavi, Maysak, and Haishen) in Northeast China in 2020. Natural Hazards, 2022, 114(3): 2883-2899.

40 刘涵, 宫鹏. 21世纪逐日无缝数据立方体构建方法及逐年逐季节土地覆盖和土地利用动态制图——中国智慧遥感制图iMap(China)1.0. 遥感学报, 2021, 25(1): 126-147.

Liu H, Gong P. 21st century daily seamless data cube reconstruction and seasonal to annual land cover and land use dynamics mapping-iMap(China)1.0. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25(1): 126-147. (in Chinese)

41 张召才. 吉林一号卫星组星. 卫星应用, 2015, (11): 89.

Zhang Z C. Jilin-1 satellite constellation. Satellite Application, 2015, (11): 89. (in Chinese)

Opportunities and challenges in monitoring cultivated land red line in big data era

DONG Jinwei[1,2*] CUI Yifeng[1,2] DI Yuanyuan[1] GAO Xuan[1] CHEN Xi[1,2] YANG Linsheng[1,2]
CAI Yumei[3] NING Jia[1] LIU Jiyuan[1]

（1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3 Research Center for Land and Spatial Planning, Ministry of Natural Resources, Beijing 100034, China）

Abstract The demographic reality of a large population and limited land resources in China necessitates the implementation of the world's most stringent cultivated land protection system. Effective, timely, and accurate monitoring of the status of cultivated land protection red line is essential to ensuring cultivated land protection and food security. The development of cutting-edge technologies such as remote sensing big data, cloud computing, and artificial intelligence has provided new opportunities for cultivated land control and monitoring. This article systematically elaborates on the current research status and challenges in the field of cultivated land protection redline control and monitoring, including the establishment of the monitoring object system, the availability of remote sensing data, the accuracy, and timeliness of monitoring results, and other related issues. It introduces advanced technologies and prospects for big data technology in cultivated land redline monitoring and proposes innovative technical solutions for cultivated land redline monitoring. The article also discusses the challenges faced in achieving this paradigm shift in research and provides corresponding recommendations on the connotations of cultivated land protection, delineation of basic land units, and the construction of monitoring networks for implementing national land spatial planning.

Keywords cultivated land redline, remote sensing monitoring, big data research paradigm, food security

董金玮 中国科学院地理科学与资源研究所研究员。主要研究领域：农业土地利用变化及其环境效应、全球变化遥感等。
E-mail: dongjw@igsnrr.ac.cn

DONG Jinwei Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on agricultural land-use change and its environmental effects, remote sensing of global change, etc.
E-mail: dongjw@igsnrr.ac.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author